

การพัฒนาต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวม วงจรชาร์จแบตเตอรี่

Development of an Integrated Double-Input Multiple-Output Converter Topology with Battery Charger

ปรัชญา สัตยารักษ์

กุศลมาลย์ เถลิงยานนท์

ณัฐฐา จินดาเพ็ชร

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

บทคัดย่อ

วงจรคอนเวอร์เตอร์ชนิดหลายอินพุตหลายเอาต์พุต เหมาะสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งาน เป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับระบบที่มีการใช้พลังงานจากหลายแหล่ง เพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดที่ต้องการระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงหลายระดับ เช่น ในระบบเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เป็นต้น ในบทความนี้นำเสนอต้นแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุต ที่มีการรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่เพื่อเพิ่มเสถียรภาพในการทำงานของวงจรโดยวงจรต้นแบบจะประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของอินพุตทั้งสอง รวมถึงควบคุมการชาร์จประจุแบตเตอรี่ และดิชาร์จในกรณีที่อินพุตทั้งสองไม่ทำงาน โดยระบบจะทำงานแบบอัตโนมัติในทุกสถานการณ์ วงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบสองอินพุตสามเอาต์พุต ขนาดกำลังไฟรวม 30 วัตต์ มีแบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ ได้ถูกออกแบบ และทดสอบ ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะการทำงานของต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ และการควบคุมแบบอัตโนมัติโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

คำสำคัญ : ดับเบิลอินพุต มัลติเพิลเอาต์พุต การชาร์จประจุ

Abstract

Multiple-input multiple-output converters are properly used as a power supply for the system that uses two or more renewable energy sources supply to load that require different levels of dc voltages for example in the wireless sensor network system. This paper presents a novel double-input multiple-output converter topology integrated with battery charger to increase reliability of the converter. In this topology, microcontroller is used to control power supplied from two inputs. Moreover, it is used to control charging and discharging of battery in the backup mode of the converter. The control system is designed to work automatically in all situations. A 30W two-input three-output prototype with a 24V battery charging is constructed and tested. The experimental results are presented to verify the theoretical analysis and the effectiveness of the control system.

Keyword : Double input, Multiple output, Battery charger

1. บทนำ

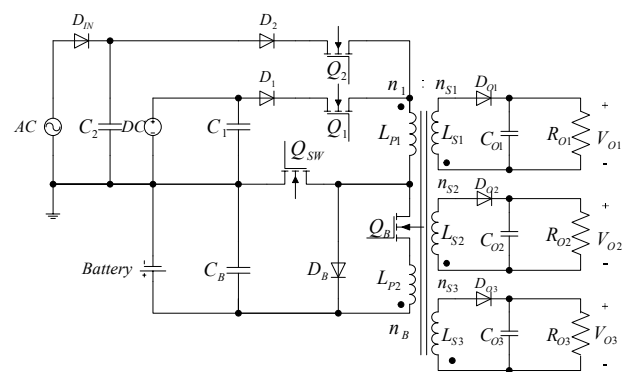
ปัจจุบันพลังงานหมุนเวียนจากธรรมชาติถูกนำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนมากขึ้น พลังงานเหล่านี้สามารถนำมาใช้ได้ตลอด ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศ ทั้งยังช่วยลดปัญหาการสูญเสียทรัพยากรจากธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด เช่น ก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมัน ที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตพลังงาน โดยทั่วไปกำลังไฟฟ้าที่มาจากพลังงานหมุนเวียนเช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ หรือพลังงานลมยังไม่สามารถนำไปจ่ายกับโหลดได้โดยตรง เนื่องจากระดับแรงดันอาจยังไม่เหมาะสมกับโหลด จึงต้องมีการใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ เพื่อปรับเปลี่ยนระดับแรงดันให้เหมาะสมตามที่โหลดต้องการ กำลังไฟฟ้าที่ได้จากแหล่งพลังงานเหล่านี้ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม และไม่สามารถควบคุมได้ [1]-[5] ดังนั้นในบางครั้งจึงต้องใช้แหล่งพลังงานจากหลายๆ แหล่งเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดได้อย่างเพียงพอ ที่ผ่านมาจะใช้วงจรคอนเวอร์เตอร์ หนึ่งตัวต่อเชื่อมกับแหล่งพลังงานหนึ่งแหล่ง ซึ่งทำให้วงจรมีขนาดใหญ่ตามจำนวนแหล่งจ่าย ต่อมาได้มีการพัฒนาวงจรให้มีขนาดเล็กโดยรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์เข้าด้วยกัน [6]-[7] ทำให้ต้นทุนในการผลิตลดลง อย่างไรก็ตามในวงจรเหล่านี้ยังเป็นวงจรแบบเอาต์พุตเดียว และไม่มีการรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ ซึ่งเป็นหัวใจหลักอย่างหนึ่งในแหล่งจ่ายที่เป็นพลังงานทดแทน

ดังนั้นในบทความนี้ จึงนำเสนอการรวมวงจรคอนเวอร์เตอร์ แบบดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุต เพื่อตอบสนองความต้องการดังกล่าว นอกจากนี้จะรวมส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อใช้เก็บพลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่าย โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุมการจ่ายกำลังจากแหล่งจ่ายทั้งสอง รวมทั้งใช้ควบคุมการชาร์จประจุและดิสชาร์จแบตเตอรี่ ในโหมดที่แหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงาน การกำหนดโหมดการทำงาน การวิเคราะห์วงจรรวมทั้งการออกแบบและสร้างวงจรเพื่อเป็นต้นแบบสำหรับแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าแบบดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุตต่อไป

2. ทฤษฎีและการออกแบบ

2.1 โครงสร้างวงจรคอนเวอร์เตอร์ต้นแบบ

โครงสร้างของวงจรคอนเวอร์เตอร์แบบดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่ ที่ออกแบบ แสดงดังรูปที่ 1 วงจรนี้ถูกออกแบบให้สามารถใช้กับแหล่งจ่ายที่มีรูปแบบที่แตกต่างกันทั้งแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งอาจมาจากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ ที่มาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสสลับ แหล่งจ่ายทั้งสองสามารถจ่ายกำลังได้อย่างเป็นอิสระต่อกัน โดยควบคุมผ่านสวิตช์ Q_1 และ Q_2 นอกจากนี้ทางด้านเอาต์พุต ยังสามารถจ่ายแรงดันที่มีระดับแตกต่างกันสำหรับโหลดหลากหลายชนิด โดยอาศัยหม้อแปลงความถี่สูงเพียงตัวเดียว ตัววงจรต้นแบบจะรวมวงจรชาร์จ ซึ่งควบคุมผ่านสวิตช์ Q_{SW} และวงจรดิสชาร์จแบตเตอรี่ กรณีแหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงาน ซึ่งควบคุมผ่านสวิตช์ Q_B สวิตช์ทุกตัวควบคุมการทำงานด้วยสัญญาณขับสวิตช์ d_1 d_2 d_{SW} และ d_B เพื่อไปขับสวิตช์ Q_1 Q_2 Q_{SW} และ Q_B ตามลำดับโดยไมโครชิพ 18F458 แบบอัดโนมิตี การทำงานของวงจรแบ่งเป็น 3 โหมดคือ โหมดปกติ (Normal mode) โหมดชาร์จแบตเตอรี่ (Charging mode) และโหมดแบ็กอัพ (Backup mode)



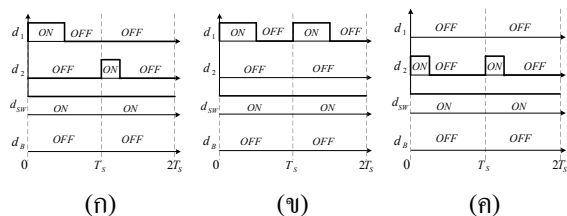
รูปที่ 1: โครงสร้างต้นแบบวงจรดับเบิลอินพุตมัลติเพิลเอาต์พุตแบบรวมวงจรชาร์จแบตเตอรี่

โหมดปกติ หากไมโครคอนโทรลเลอร์มีการตรวจสอบค่าแรงดันที่แบตเตอรี่ แล้วพบว่าค่าสูงกว่าค่าอ้างอิง นั่นคือแบตเตอรี่ถูกประจุจนเต็มแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งสวิตช์ Q_{SW} “ON” ซึ่งหมายถึงไม่มีการชาร์จประจุให้แบตเตอรี่ สวิตช์ Q_1 และ Q_2 นำกระแสตามรอบทำงานที่

กำหนดไว้ โดยจะสลับกันทำงาน สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติแสดงดังรูปที่ 2 รูปวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดปกติแสดงดังรูปที่ 3

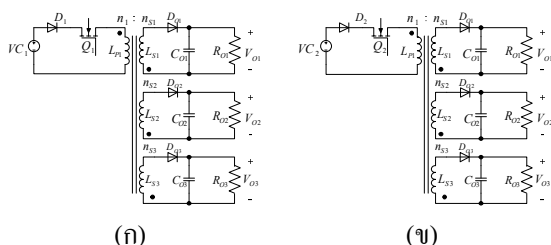
โหมดชาร์จแบตเตอรี่ หากไม่โครคอนโทรลเลอร์ มีการตรวจสอบพบว่า ค่าแรงดันที่แบตเตอรี่ มีค่าต่ำกว่าค่าแรงดันอ้างอิง สวิตช์ Q_{SW} จะมีการ “ON” และ “OFF” เป็นรอบโดยช่วงที่สวิตช์ Q_{SW} “OFF” จะต้องเป็นช่วงเวลาที่สวิตช์ Q_1 หรือ Q_2 นำกระแส โดยในช่วงเวลานี้ กระแสจากแหล่งจ่ายจะทำการชาร์จประจุแบตเตอรี่ผ่านทางไดโอด D_B ส่วนการทำงานของสวิตช์ตัวอื่นจะเหมือนในกรณีโหมดปกติ สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 4 และวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังรูปที่ 5

โหมดแบ็กอัพ กรณีแหล่งจ่ายทั้งสองไม่สามารถจ่ายกำลังให้กับโหลดได้ไมโครคอนโทรลเลอร์จะควบคุมสวิตช์ Q_B ให้นำกระแสตามรอบทำงานที่ออกแบบไว้ สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดแบ็กอัพแสดงดังรูปที่ 6 (ก) และวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดแบ็กอัพแสดงดังรูปที่ 6 (ข)



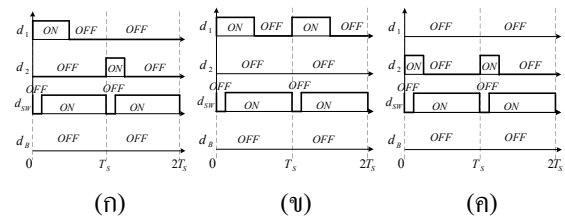
รูปที่ 2: สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดปกติ

- (ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย
- (ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



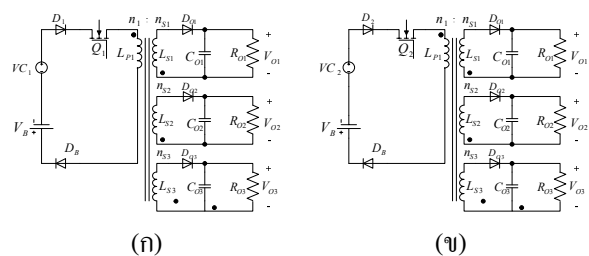
รูปที่ 3: วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดปกติ

- (ก) ขณะแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ข) ขณะแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



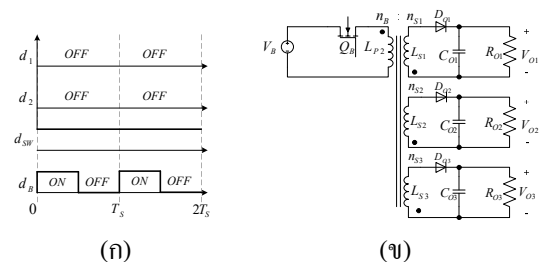
รูปที่ 4: สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

- (ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย
- (ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



รูปที่ 5: วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

- (ก) ขณะแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน
- (ข) ขณะแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



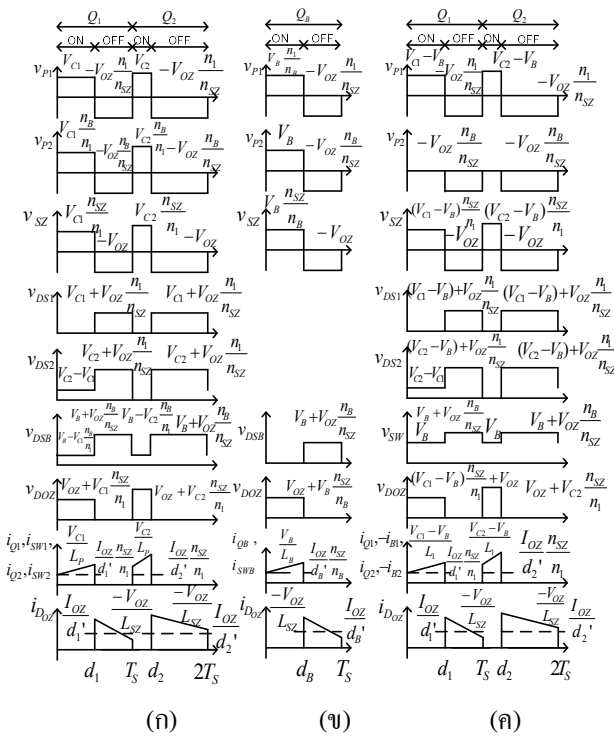
รูปที่ 6: สัญญาณควบคุมสวิตช์และวงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดแบ็กอัพ

- (ก) สัญญาณควบคุมสวิตช์ในโหมดแบ็กอัพ
- (ข) วงจรสมมูลวงจรต้นแบบในโหมดแบ็กอัพ

ตารางที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของสวิตช์ในแต่ละโหมดการทำงาน

สวิตช์	โหมดปกติ	โหมดชาร์จแบตเตอรี่	โหมดแบ็กอัพ
Q_1, Q_2	PWM	PWM	OFF
Q_B	OFF	OFF	PWM
Q_{SW}	ON	PWM	ON

จากการวิเคราะห์วงจรสมมูลทั้งสามโหมดการทำงาน สามารถทำการเขียนรูปคลื่นแรงดันและกระแสของ ส่วนประกอบหลัก ภายใต้การทำงานทั้งสามโหมดได้ดัง รูปที่ 7 ซึ่งกำหนดให้ Z แทนลำดับเอาต์พุต โดยแสดง ลำดับจากบนลงล่างดังนี้ แรงดันด้านปฐมภูมิ 1 แรงดัน ด้านปฐมภูมิ 2 แรงดันด้านทุติยภูมิ แรงดันที่สวิตช์ Q_1 แรงดันที่สวิตช์ Q_2 แรงดันที่สวิตช์ Q_B แรงดันที่ไดโอด เอาต์พุต กระแสที่สวิตช์ Q_1 กระแสที่สวิตช์ Q_2 และ กระแสที่ไดโอดเอาต์พุตตามลำดับโดยค่าแรงดัน และ กระแสเหล่านี้จะนำไปใช้ในการออกแบบ และเลือก อุปกรณ์สำหรับวงจรต้นแบบต่อไป



รูปที่ 7: รูปคลื่นแรงดันและกระแสในแต่ละโหมด

(ก) ในโหมดปกติ

(ข) ในโหมดแบ็กอัพ

(ค) ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

3. ผลการทดลอง

การทดสอบการทำงานของวงจรต้นแบบกำหนดค่า แรงดันอินพุต $V_{C1} = 30$ โวลต์ และ $V_{C2} = 60$ โวลต์ แรงดัน เอาต์พุตมีขนาด 12 โวลต์ 5 โวลต์ และ 3.3 โวลต์ ตามลำดับ ความถี่การสวิตช์เท่ากับ 100 kHz กำหนดให้

รูปคลื่นแรงดันเป็นสัญญาณบนและรูปคลื่นกระแสเป็น สัญญาณล่าง กรณีแรงดันและกระแสอยู่ในรูปเดียวกัน

3.1 ผลการทำงานในโหมดปกติ

การทำงานของสวิตช์ขึ้นอยู่กับสถานะของแหล่งจ่าย ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้แบบอัตโนมัติโดยการควบคุม จากไมโครคอนโทรลเลอร์สถานะของสวิตช์ใน โหมด ชาร์จแบตเตอรี่แสดงดังตารางที่ 2 รูปคลื่นแรงดันด้านปฐม ภูมิ 1 แสดงดังรูปที่ 8 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ไดโอด เอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 9

3.2 ผลการทำงานในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

ไดโอด D_B นำกระแสชาร์จประจุแบตเตอรี่ในช่วงที่ สวิตช์ Q_1 และ Q_2 นำกระแส สถานะของสวิตช์ในโหมด ชาร์จแบตเตอรี่ แสดงดังตารางที่ 3 รูปคลื่นแรงดัน และ กระแสที่ไดโอด D_B แสดงดังรูปที่ 10 รูปคลื่นแรงดันด้าน ปฐมภูมิ 1 แสดงดังรูปที่ 11 รูปคลื่นแรงดันและกระแสที่ ไดโอดเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 12

3.3 ผลการทำงานในโหมดแบ็กอัพ

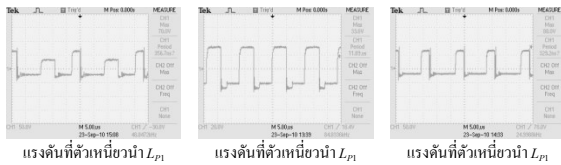
เมื่อแหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงานสวิตช์ Q_B จะนำกระแส เพื่อให้แบตเตอรี่ขนาด 24 โวลต์ จ่ายกำลังไฟฟ้าให้โหลด สถานะของสวิตช์ในโหมดแบ็กอัพแสดงดังตารางที่ 4 รูปคลื่นแรงดันด้านปฐมภูมิ 2 แสดงดังรูปที่ 13 รูปคลื่น แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 14

ตารางที่ 2 สถานะของสวิตช์ในโหมดปกติ

สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{SW}
ทำงานสองแหล่งจ่าย	PWM	PWM	OFF	ON
มีเพียงแหล่งจ่าย กระแสตรงทำงาน	PWM	OFF	OFF	ON
มีเพียงแหล่งจ่าย กระแสสลับทำงาน	OFF	PWM	OFF	ON

ตารางที่ 3 สถานะของสวิตช์ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{SW}
ทำงานสองแหล่งจ่าย	PWM	PWM	OFF	PWM
มีเพียงแหล่งจ่าย กระแสตรงทำงาน	PWM	OFF	OFF	PWM
มีเพียงแหล่งจ่าย กระแสสลับทำงาน	OFF	PWM	OFF	PWM



(ก)

(ข)

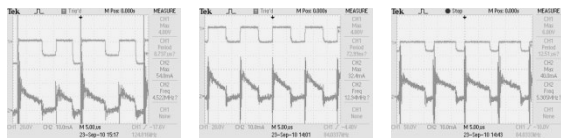
(ค)

รูปที่ 8: แรงดันด้านปฐมภูมิ 1 ในโหมดปกติ

(ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย

(ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน

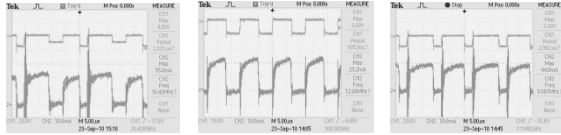
(ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



(ก)

(ข)

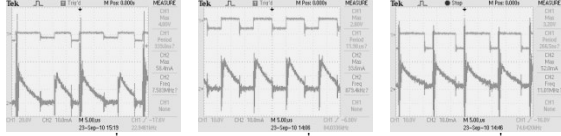
(ค)



(ก)

(ข)

(ค)



(ก)

(ข)

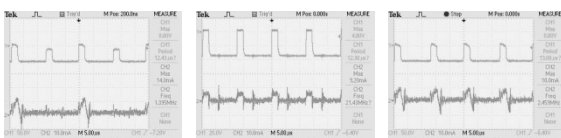
(ค)

รูปที่ 9: แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดปกติ

(ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย

(ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน

(ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



(ก)

(ข)

(ค)

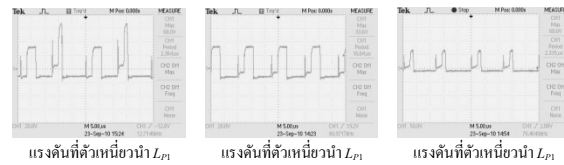
รูปที่ 10: แรงดันและกระแสที่ไดโอด D_B ขณะชาร์จประจุในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

(ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย

(ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน

(ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน

รูปที่ 10 (ก) ไดโอด D_B นำกระแสเฉพาะช่วงที่แหล่งจ่าย V_{C2} ทำงานเนื่องจากระดับแรงดัน $V_{C2} > V_{C1}$ ทำให้ไดโอด D_B หยุดนำกระแสในขณะแหล่งจ่าย V_{C1} ทำงาน



(ก)

(ข)

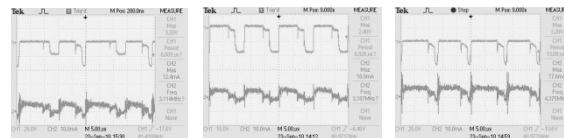
(ค)

รูปที่ 11: แรงดันด้านปฐมภูมิ 1 ในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

(ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย

(ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน

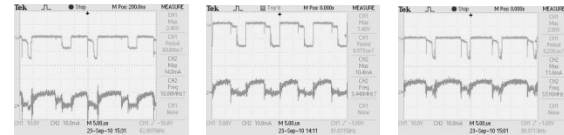
(ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน



(ก)

(ข)

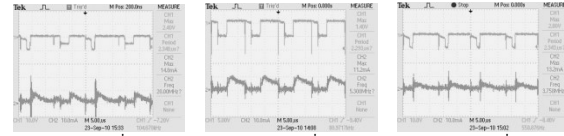
(ค)



(ก)

(ข)

(ค)



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 12: แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดชาร์จแบตเตอรี่

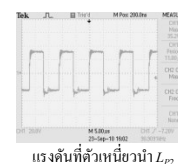
(ก) ขณะทำงานสองแหล่งจ่าย

(ข) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสตรงทำงาน

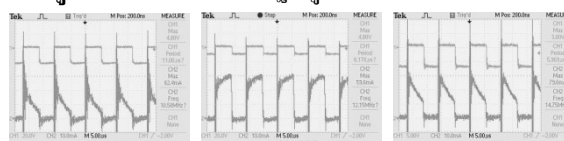
(ค) ขณะมีเพียงแหล่งจ่ายกระแสสลับทำงาน

ตารางที่ 4 สถานะของสวิตช์ในโหมดแบ็กอัพ

สถานะ	Q_1	Q_2	Q_B	Q_{sw}
แบตเตอรี่จ่ายกำลังไฟฟ้า	OFF	OFF	PWM	ON



รูปที่ 13: แรงดันด้านปฐมภูมิ 2 ในโหมดแบ็กอัพ



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 14: แรงดันและกระแสที่ไดโอดเอาต์พุตในโหมดแบ็กอัพ

4. สรุป

วงจรคอนเวอร์เตอร์แบบดับเบิลอินพุตมัลติเฟสเอาต์พุตที่นำเสนอในบทความนี้ มีการรวมส่วนของวงจรชาร์จแบตเตอรี่ เพื่อใช้เก็บพลังงานจากทั้งสองแหล่งจ่ายโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าของแหล่งจ่ายทั้งสอง รวมทั้งใช้ควบคุมการชาร์จประจุและดิสชาร์จแบตเตอรี่ ในโหมดที่แหล่งจ่ายทั้งสองไม่ทำงาน โดยแบ่งการทำงานเป็น 3 โหมดคือ โหมดปกติ โหมดชาร์จแบตเตอรี่ และโหมดเบรกอัพ ในบทความได้นำเสนอการออกแบบวงจร การควบคุม รวมถึงการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดในหลายกรณี จากผลการทดลองในทุกโหมดการทำงานเห็นได้ว่าวงจรที่ได้ทำการออกแบบนี้สามารถทำงานได้จริงตามที่กล่าวมาโดยเอาต์พุตทั้ง 3 นักระแสแบบต่อเนื่อง ประสิทธิภาพของการชาร์จประจุแบตเตอรี่แบบแหล่งจ่ายเดียวทำงานจะสูงกว่าสองแหล่งจ่าย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนสถานที่ เครื่องมือ และทุนในการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] E. Muljadi and H. E. McKenna. "Power quality issues in a hybrid power system", IEEE Transactions on Industry Applications. vol. 38, no. 3, pp. 803-809, May/Jun 2002.
- [2] S. M. Alghuwainem. "Performance analysis of a PV powered dc motor driving a 3 - phase self - excited induction generator", IEEE Transaction on Energy Conversion, vol. 11, no. 1, pp. 155-161, Mar 1996.
- [3] E. Muljadi and R. Taylor "PV water pumping with a peak-power tracker using a simple six-step square-wave inverter", Conference Record of Industry Applications. vol. 1, pp. 133-142, Oct 1996.
- [4] Z. Chen and E. Spooner. "Grid power quality with variable speed wind turbines", IEEE Transaction on Energy Conversion. vol. 16, no. 2, pp. 148-154, June 2001.
- [5] F. Giraud and Z. M. Salameh. "Steady-state performance of a gridconnected rooftop hybrid wind-Photo-voltaic power system with battery storage", IEEE Transaction on Energy Conversion. vol. 16, no. 1, pp. 1-7, Mar 2001.
- [6] Y. M. Chen, Y. C. Liu and S. H. Lin. "Double-Input PWM DC/DC Converter for High-/Low-Voltage Sources", IEEE Transactions on Industrial Electronics. vol. 53, no 5, pp. 1538-1545, Oct 2006.
- [7] K. P. Yalamanchili, M. Ferdowsi and K. Corzine. "New Double Input DC-DC Converters for Automotive", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, vol.06, pp.1-6, Sept 2006.
- [8] W. M. Kwok and S. L. Yim. "An Integrated Flyback Converter for DC Uninterruptible Power Supply", IEEE Transactions on Power Electronics, vol.11, no 2, pp. 318-327, Mar 1996.
- [9] N. C. Yi, C. L. Deng, C. T. Kuo and W. W. Cheng "A Multiple-Input Multiple-Output Power Converter With Efficient Power Management", Journal of the Chinese Institute of Engineers, vol.30, no. 7, pp.1277-1286, 2007.
- [10] R. W. Erickson and D. Maksimovic. "Fundamentals of Power Electronics Second Edition", Kluwer Academic Publisher, 2001.
- [11] มนตรี คำเงิน, ชีติมา ตรีพย์ค์ และกอบชัย เชนหาญ "วงจรช้อปเปอร์มอดูเลเตอร์โดยใช้วงจรสายพานกระแสแบบแรงดันอินพุตแตกต่างเป็นวงจรพื้นฐาน" วิศวกรรมลาดกระบัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล.ปีที่ 26 ฉบับที่ 1, เดือนมีนาคม 2552 ISSN 0125-1724 วารสารระดับชาติ